

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-287650

(43)Date of publication of application : 19.10.1999

(51)Int.Cl. G01C 7/06  
E21F 17/00  
G01B 11/16

(21)Application number : 10-088801 (71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 01.04.1998 (72)Inventor : FUKAE SHINGO  
TSUKANO MASAZUMI  
KAI TOKIO

(54) MEASURING DEVICE FOR DEFORMATION OF INTERNAL SPACE OF TUNNEL BY USE OF OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a tunnel internal space deformation measuring device capable of detecting at high sensitivity the amounts of deformation of the internal space of a tunnel in x, y, and z directions.

SOLUTION: This measuring device measures the amounts of deformation of the internal space of a tunnel according to the strain of an optical fiber due to

extension and comprises a looped optical fiber 21

comprising an optical fiber 9 wound by a predetermined number of turns for each unit loop section length 1, a

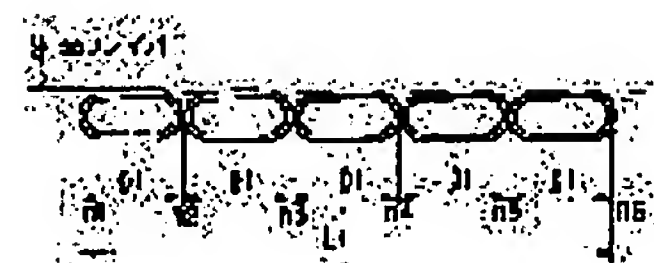
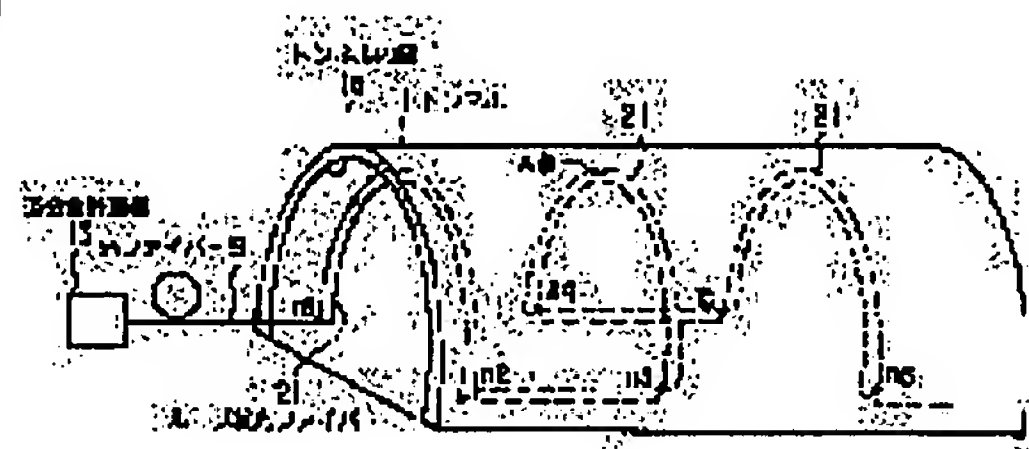
strain distribution measuring apparatus 13, and a single conductor type optical fiber. The looped optical fiber 21

has the parts of unit loop section lengths laid along the interior wall 1a of the tunnel along the longitudinal

direction (x direction) of the tunnel and alternating with the parts of unit loop section lengths

fixed in place in such a way as to make close contact with the interior wall 1a along the cross section (z direction) of the tunnel while keeping intervals of unit loop section lengths in the

longitudinal direction of the tunnel, and the end of the looped optical fiber 21 is connected to the strain distribution measuring apparatus 13 by the single conductor type optical fiber.



---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-287650

(43) 公開日 平成11年(1999)10月19日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 C 7/06

G 0 1 C 7/06

E 2 1 F 17/00

E 2 1 F 17/00

G 0 1 B 11/16

G 0 1 B 11/16

Z

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-88901

(22) 出願日 平成10年(1998)4月1日

(71) 出願人 000006208

三菱重工築株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 深江 真吾

長崎県長崎市館の浦町1番1号 三菱重工  
築株式会社長崎造船所内

(72) 発明者 塚野 正純

長崎県長崎市館の浦町1番1号 三菱重工  
築株式会社長崎造船所内

(72) 発明者 関 登喜雄

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工築株式会社長崎研究所内

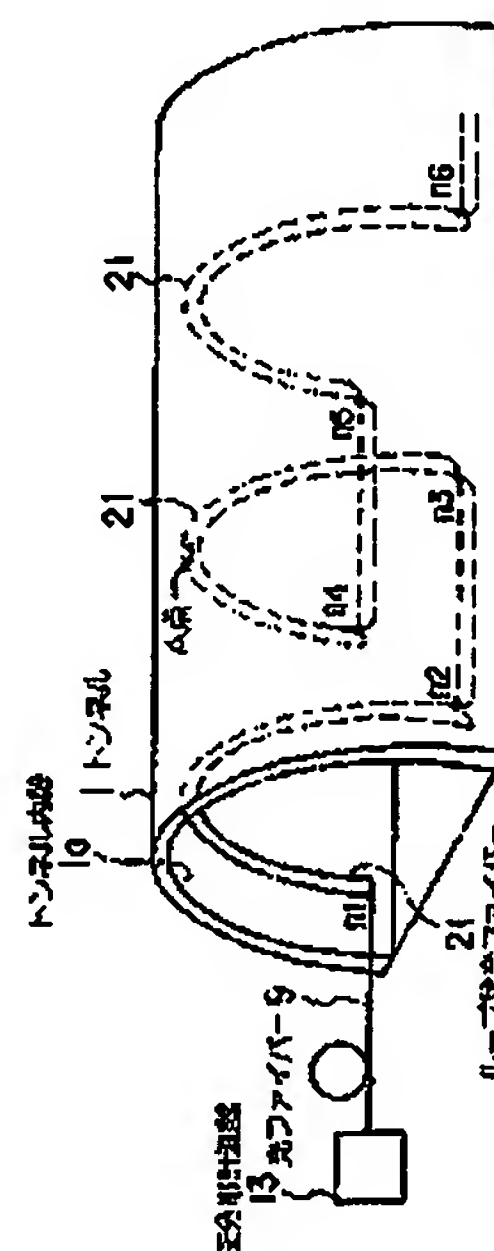
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

(54) 【発明の名称】 光ファイバーによるトンネル内空変形測定装置

(57) 【要約】

【課題】本発明は、トンネル内空のx、y、z方向の変形量を高感度で検出できるトンネル内空変形測定装置を提供することを目的とする。

【解決手段】光ファイバーの伸長による歪みに基づいてトンネル内空の変形量を測定する装置において、単位ループ区間長 $l$ 、毎に所定の回数巻かれた光ファイバー9により構成されるループ状光ファイバー21と、歪分布計測器13と、単線式光ファイバー20からなり、ループ状光ファイバー21は、トンネルの長さ方向(x方向)にトンネル内壁1aに沿って敷設される単位ループ区間長の部分と、トンネルの長さ方向に単位ループ区間長の間隔を保ちながらトンネル断面(z方向)に沿って内壁1aに密着するように固定される単位ループ区間長の部分とを、交互に有し、ループ状光ファイバー21の端部と歪分布計測器13の間は、単線式光ファイバー20により接続されていることを特徴とする。



(2)

特開平11-287650

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバーの伸長による歪みに基づいてトンネル内空の変形量を測定する装置において、

単位ループ区間長毎に所定の回数巻かれた光ファイバーにより構成されるループ状光ファイバーと、歪分布計測器と、単線式光ファイバーからなり、

前記ループ状光ファイバーは、トンネルの長さ方向にトンネル内壁に沿って敷設される単位ループ区間長の部分と、トンネルの長さ方向に単位ループ区間長の間隔を保ちながらトンネルの断面に沿って内壁1aに密着するように固定される単位ループ区間長の部分とを、交互に有し、

前記ループ状光ファイバーの端部と前記歪分布計測器の間は、単線式光ファイバーにより接続されていることを特徴とする光ファイバーによるトンネル内空変形測定装置、

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、鉄道、道路及び水路のトンネル等の内空の変形量測定装置に関する、

## 【用語の説明】

(a) 「光ファイバーの単位ループ区間長 $l_1$ 」

光ファイバーの単位ループ区間長 $l_1$ とは、1ループ区間の長さをいい、図2の例では、 $n_1 \sim n_2$ 、 $n_2 \sim n_3$ 、 $n_3 \sim n_4$ 、 $n_4 \sim n_5$ 、 $n_5 \sim n_6$ の長さが、それぞれ単位ループ区間長 $l_1$ になる、

(b) 「光ファイバーのループ区間長 $l_2$ 」

光ファイバーのループ区間長 $l_2$ とは、ループ状光ファイバーで構成される区間の長さをいい、図2の例では、 $n_1 \sim n_6$ 間の長さが、ループ区間長 $l_2$ になる、

(c) 「光ファイバーの全長」

光ファイバーの全長とは、光ファイバーのループ区間長に使用される巻数を考慮した光ファイバーの長さ、図1に示すトンネルの入り口から歪分布計測器までの光ファイバーの長さを加えたものをいう、

(d) 「トンネルの内空変位」

トンネルの内空変位とは、図9のxを基準ラインとする形状を考えると、トンネル内壁断面のx、y、z方向(図9)への変位をいう、

(e) 「単位ループ区間長 $l_1$ 内に2.5巻する」

単位ループ区間長 $l_1$ 内に2.5巻するとは、例えば図1～図2の場合、光ファイバーで単位ループ区間長 $l_1$ 、

( $n_1 \sim n_2$ 間)については、

第1巻  $n_1 \sim n_2$ 、 $n_2 \sim n_3$ 、

第2巻  $n_1 \sim n_2$ 、 $n_2 \sim n_3$ 、

半巻  $n_1 \sim n_2$ 、

単位ループ区間長 $l_1$ 、( $n_2 \sim n_3$ )については、

第1巻  $n_2 \sim n_3$ 、 $n_3 \sim n_4$ 、

第2巻  $n_2 \sim n_3$ 、 $n_3 \sim n_4$ 、

半巻  $n_2 \sim n_3$ 、

単位ループ区間長 $l_1$ 、( $n_1 \sim n_2$ )については、

第1巻  $n_1 \sim n_2$ 、 $n_2 \sim n_3$ 、

第2巻  $n_1 \sim n_2$ 、 $n_2 \sim n_3$ 、

半巻  $n_1 \sim n_2$ 、

(以下、省略)のように、単位ループ区間長 $l_1$ 内に光ファイバーを2.5回巻くことをいう、

## 【0002】

【従来の技術】 従来の技術を図5～図9に示す。図5は従来の第1の技術を示す図、図6～図7は従来の第2の技術を示す図、図8～図9は従来の第3の技術を示す図である、

(従来の第1の技術) 従来の第1の技術は、図5に示すようにトンネル1内において、トンネル通路上の任意の位置に測定点2を挟んで高さ角及び水平角を測定する2台のデジタルトランシット3、4を、例えば7～8m離して水平に設置し、かつこれらデジタルトランシット3、4の前面のトンネル内壁1aに視準尺5を貼り付ける、

【0003】 このような準備の後、各デジタルトランシット3、4において互いに視準尺5を視準させて視準線を一致させる。そして、各デジタルトランシット3、4の望遠鏡を通して視準尺5の両端に貼り付けられている視準標6を視準し、この後に互いを視準する。これにより、任意に設置した各デジタルトランシット3、4の位置座標が決定される、

【0004】 この後に、各デジタルトランシット3、4を用いて測定点2を視準することによって、測定点2の座標が定まる。このようにして全ての測定点2に対する視準が行われる、

【0005】 全ての測定点2に対する視準が終了すると、これら測定点2の位置座標は、例えばラップトップ型のパーソナルコンピュータ7にインプットされ、このパーソナルコンピュータ7により全ての測定点2の位置座標を用いて座標計算して各測定点2間の間隔が算出される、

【0006】 そうして、以上の作業をトンネル1の各断面位置で定期的に行い、トンネル内壁1aの変形量を求める、

(従来の第2の技術) 従来の第2の技術は、図6に示すように、トンネル内壁1aに複数の格子型光ファイバーセンサ8a～8dを取り付けている。これら格子型光ファイバーセンサ8a～8dは、図7に示すように、光ファイバー9の先端にコア10を設け、このコア10内に格子状のスリット11を設けたものとなっている、

【0007】 このような構成であれば、トンネル内壁1aが変形すると、この変形に応じてコア10内のスリット11のピッチが変化する。このスリット11のピッチが変化すると、光ファイバー9の端部から入射した光の後方散乱光の周波数が変化する。この後方散乱光の周波数を測定することによりトンネル内壁1aの変形量



(3)

特開平11-287650

3

4

が求められる。

〔従来の第3の技術〕従来の第3の技術は、図8に示すようにトンネル内壁1aに光ファイバー9を貼り付け、かつ、この光ファイバー9の端部に歪分布計測器13を接続したものとなっている。

〔0008〕このような構成において、歪分布計測器13は、光ファイバー9の片端からレーザパルス光を照射して、光ファイバー内で生じる後方散乱光（ブリルアン散乱光）をコヒーレント検出方法により高感度に検出し、光ファイバー9の伸縮に応じてシフトする後方散乱光のブリルアン屈折率から歪み量を求め、かつレーザパルス光を照射してから後方散乱光が戻ってくる時間により歪みの位置を測定するもので、この測定結果から光ファイバー9の全長に亘る歪み分布を求めてトンネル内壁1aの変形量を得る。

〔0009〕

〔発明が解決しようとする課題〕従来の技術には、次のような問題がある。

（1）上記第1の技術では、構造物がトンネル1の場合、列車や車両などの交通規制が必要となり、かつ測定点2が定点で、かつ変形量の測定の作業を定期的に行うものとなるため、トンネル内壁1aの変形量の全体監視、追跡監視ができない。

（2）又、上記第2の技術では、トンネル1のような長大な構造物の場合、構造物全体の形状変形を監視するに\*

$$\Delta l = \sin \left[ \cos^{-1} (1000/1000.1) \right] \times 1000.1 \\ = 14.14$$

から約14.14mmとなり、トンネル1のy方向の変形に対しては検出感度が悪いことが分かる。

〔0012〕本発明は、上記問題を解決することが出来る装置、すなわち、トンネル内壁のx、y、z方向の変形量を高感度で検出できるトンネル内空変形測定装置を提供することを目的とする。

〔0013〕

〔課題を解決するための手段〕（第1の手段）本発明に係る光ファイバーによるトンネル内空変形測定装置は、光ファイバーの伸縮による歪みに基づいてトンネル内壁の変形量を測定する装置において、（A）単位ループ区間長1、毎に所定の回数巻かれた光ファイバー9により構成されるループ状光ファイバー21と、歪分布計測器13と、単線式光ファイバー20からなり、（B）前記ループ状光ファイバー21は、トンネルの長さ方向（x方向）にトンネル内壁1aに沿って敷設される単位ループ区間長の部分と、トンネルの長さ方向に単位ループ区間長の間隔を保ちながらトンネル断面（z方向）に沿って内壁1aに密着するように固定される単位ループ区間長の部分とを、交互に有し、（C）前記ループ状光ファイバー21の端部と歪分布計測器13の間は、単線式光ファイバー20により接続されていることを特徴とする。

\*は、多数の格子型光ファイバーセンサ8a～8d、…が必要となる。

〔0010〕このように多数の格子型光ファイバーセンサ8a～8d、…を設けた場合の対処として、格子型光ファイバーセンサ8a～8d、…の敷点を1本の光ファイバー9で接続する例が他の文献などで報告されているが、いずれにしても測定点が多くなると、格子型光ファイバーセンサ8a～8d、…や光ファイバーケーブルの敷設数が多くなる。

（3）上記第3の技術では、光ファイバー9が敷設された光ファイバーの長さ方向のトンネル内壁の変形、すなわち、図9に示す光ファイバー9のac間でのz方向（トンネル内壁の上下方向）の変形に対して、例えば約2m長さで0.2mm程度のトンネル内壁1aの伸長を検出できるが、y方向（トンネル内壁の凸凹変形）、x方向（トンネル内壁のトンネルの長さ方向変形）に対しては検出感度が悪い。

〔0011〕例えば、図9に示すように光ファイバー9が、変形する前の実線で示す各点a、b、cの状態での長さが、2mであったものが、トンネル内壁1aの変形により点線で示す各点a、d、cの状態での光ファイバー9の長さが、2m+0.2mmに変形するには、光ファイバー9の中心点bがdに変形する変形量Δl（bdの長さ）は、

…（1）

〔0014〕

〔発明の実施の形態〕（第1の実施の形態）本発明の第1の実施の形態を図1～図4に示す。図1は、本発明の第1の実施の形態に係るトンネル内空断面の歪の測定状況を示す図。図2は、本発明の光ファイバー敷設の原理図。図3は、本発明原理に基づく光ファイバーの構造の1例を示す図。図4は、本発明の第1の実施の形態に係るループ状方式と従来の単線式光ファイバー方式の歪検出特性を示す図である。

〔0015〕本発明のトンネル内空断面の歪測定状況は、図1に示すように、トンネル内空面1aに任意本数のループ状光ファイバー21を敷設し、ループ状光ファイバーのn、と歪分布計測器13の間は、単線式光ファイバーを、公知の方法で接続して、使用する。

〔0016〕本発明装置における光ファイバー敷設の原理は、図2に示すように、光ファイバー9の単位ループ区間長1、内に2.5巻することにより、単位ループ区間内に従来の単線式光ファイバーの5本分（2.5巻×2本/巻=5本；1巻=従来の単線式光ファイバーの2本分に相当）敷設している。

〔0017〕この時、ループ状光ファイバーの曲げ半径Rは、光ファイバーの曲げによる光伝送損失が起きないように、30mm以上としている。そして図2の例で

(4)

特開平11-287650

5

は、単位ループ区間長 $l_1$ 、=約400mmとし、この区間の光ファイバー9のループ区間長 $l_2$ を、  
ループ区間長 $l_2$ 、=約400mm×5=約2000mm  
=約2m、  
としている。

【0018】図3は、上記原理に基づくループ状の光ファイバーを製作した例で、薄膜状の基板100上に光ファイバー9を予め接着している。テンションの伸縮、両方向の歪を検知するため、予め光ファイバー本体に張力を付けて薄膜状の基板100に貼り付けている。

【0019】図4は、本発明で使用するループ状の光ファイバー21と、従来の単線式光ファイバー20を試験片に接着し長手方向に引っ張ったときの歪検知特性で、横軸に引張り量、縦軸に歪検知出力を示している。

【0020】試験片2mの0.08mmの引張り量に対して、従来の単線式光ファイバー20は、0.04%の歪検知出力を示すが、本発明で使用するループ状の光ファイバー21は、0.20%の歪検知出力であり、約5倍の感度を持っている。

【0021】以上のことを図9の△1（bd間の長さ）に換算すると、従来の単線式光ファイバーの検知能力は△1=14.14mmであるのに対して、本発明のループ状光ファイバーの検知能力は△1=約2.83mmであり、本発明で使用するループ状の光ファイバーを使用すれば、従来の単線式光ファイバーの約1/5の歪まで検知可能になる。

【0022】光ファイバー9の単位区間長 $l_1$ を400mmとし、光ファイバーの巻数を4.5巻（光ファイバー9本）として接着した試験片2mを、0.08mm引っ張ると0.36%の歪検知出力であり、従来の単線式光ファイバー方式の約9倍の感度を持つことになる。

【0023】また光ファイバー9の単位区間長 $l_1$ は、光ファイバーの曲げによる減衰を起こさない半径30mm\*

光ファイバー自体の伝送損失は

光コネクタの損失は

光ファイバー溶着接続の損失は

を目安にして、計測長、接続点などを考慮し、最適半径Rとループ間隔を決定する。

※

半径Rは

25mm.

光ファイバーの単位ループ区間長 $l_1$ は 200mm=0.2m.単位ループ区間長 $l_1$ における巻数は 2.5巻（光ファイバー5本分）トンネル内空面敷設長 $l_2$ は 200m

光ファイバーの全長は 約1000m. (200m×5)

溶着接続点は 2点.

光コネクタは 1個.

とし、

光ループでの減衰を -2.0 dB (500回)

光ファイバー自体の伝送損失を -0.025 dB

光ファイバー溶着接続の損失を -0.2 dB

光コネクタの損失を -2.0 dB

6

\*m以上であればよい。仮に単位区間長 $l_1$ を約200mmとし、光ファイバーの巻数を4.5（光ファイバー9本）として接着した試験片2mを0.08mm引っ張ると0.68%の歪検知出力であり、従来の単線式光ファイバー方式の約18倍の感度を持つことになる。

【0024】光ファイバー9の単位区間長 $l_1$ と光ファイバーの巻数は歪検知目標に最適になるように設定する。図2を基にして製作したループ状光ファイバー21を、図1のようにトンネル内壁1aに、数m又は数10m間隔で、密着するように固定する。

【0025】図1のように、歪分布計測器13とループ状光ファイバーのn、の間には単線式光ファイバー20を使用し、トンネル1の内壁にはループ状光ファイバー21を設置する。

【0026】光を歪分布計測器13から入射すると、A点（変形部）で光の反射が発生し、その反射が戻ってくる時間を計測することにより、A点までの距離が分かり、ループ状光ファイバー21をトンネル内空面に固定した位置関係により変形の発生位置を特定することが出来る。

【0027】図2に示すループ状光ファイバー21の曲げ半径Rは、光伝送損失を起こさないように30mm以上としたが、歪測定距離が短い場合はこの限りではない。現在の歪分布計測器のダイナミックレンジは、約8dB（パルス幅20nにおいて、歪2m分解にて計測）である。

【0028】我々の試験では、

半径30Rでの200回での伝送損失は約 0.0 dB  
（曲げ減衰なし）

半径25Rでの200回での伝送損失は約-0.8 dB

半径20Rでの200回での伝送損失は約-2.0 dBであった。

【0029】

-2.5 dB/km、

-2.0 dB/個、

-2.0 dB/個、

※【0030】1例として、

(5)

特開平11-287650

7

8

とすると、

合計損失は

となるが、トンネルの内空変位の計測感度は、図4から判るように、従来の単線式光ファイバー方式の約5倍になる（巻数を増加すると感度は増加する）。

【0031】また、局部歪も単位ループ区間長1、（上記例では200mm）毎に検知可能になる。薄膜状の基板100に光ファイバーを接着する作業は工場で行っているため、現地での光ファイバーの敷設が簡単になり、作業効率が向上する。

【0032】

【発明の効果】本発明は前述のように構成されているので、以下に記載するような効果を奏する。

（1）トンネルの内空変位の計測感度を従来の単線式光ファイバー方式の数倍以上にすることが出来る。

（2）薄膜状の基板に光ファイバーを接着する作業は工場で行っているため、現地での光ファイバーの敷設が簡単になり、作業効率を向上することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るトンネル内空断面の歪の測定状況を示す図。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る光ファイバー敷設の原理図。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る光ファイバーの構造の1例を示す図。

【図4】本発明の第1の実施の形態に係るループ状方式と従来の単線式光ファイバー方式の歪検出特性を示す図。

【図5】従来の第1の技術を示す図。

-4.2 dB

\*【図6】従来の第2の技術を示す図（1）。

【図7】従来の第2の技術を示す図（2）。

【図8】従来の第3の技術を示す図（1）。

【図9】従来の第3の技術を示す図（2）。

【符号の説明】

1 …トンネル

1a …トンネル内壁

10 2 …測定点

3 …デジタルトランシット

4 …デジタルトランシット

5 …視進尺

6 …視進標

7 …パーソナルコンピュータ

8 …格子型光ファイバーセンサ

9 …光ファイバー

10 …コア

11 …スリット

20 12 …光ファイバー・ドラム

13 …歪分布計測器

20 …単線式光ファイバー

21 …ループ状光ファイバー

100 …薄膜状の基板

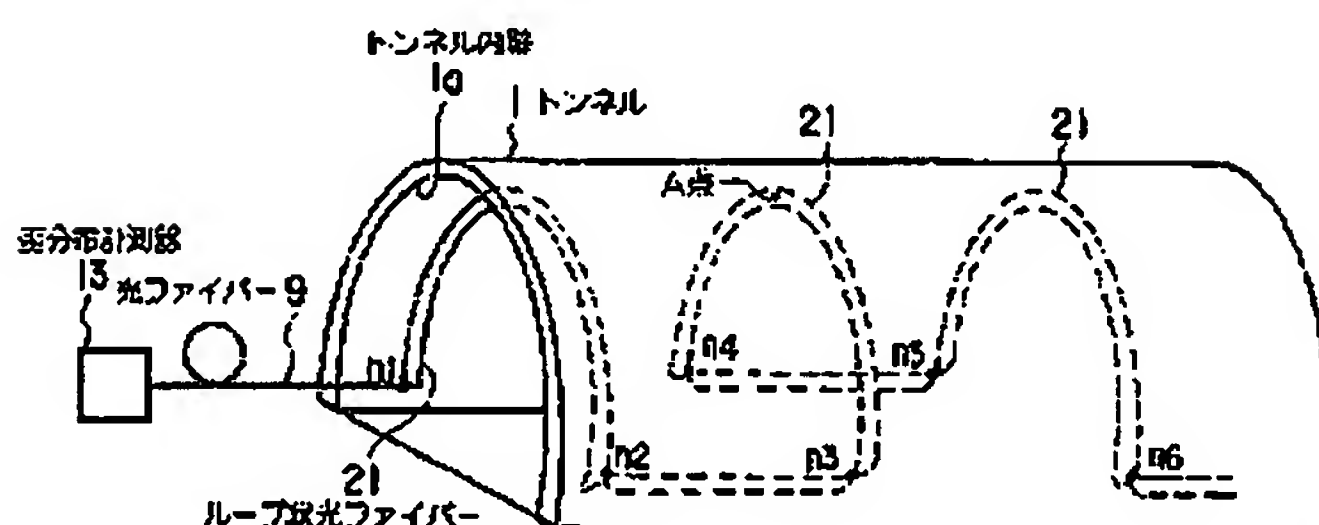
x方向…トンネルの長さ方向

y方向…トンネルの内外方向（内壁の凸凹変形の方法）

z方向…トンネルのx方向とy方向に垂直な方向（内壁の上下方向）

【図1】

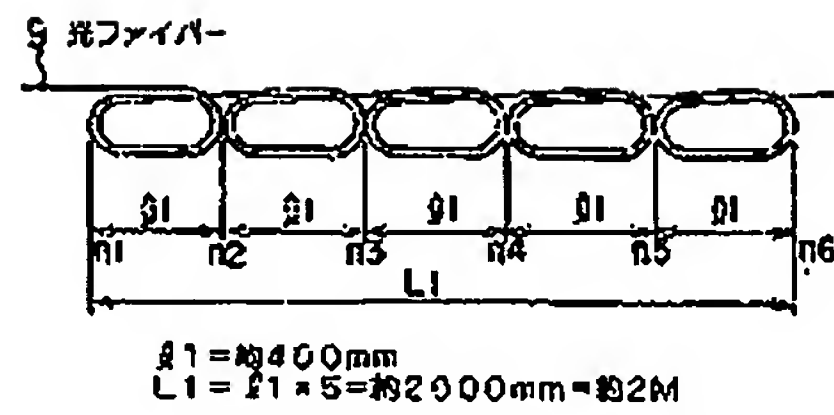
【図7】



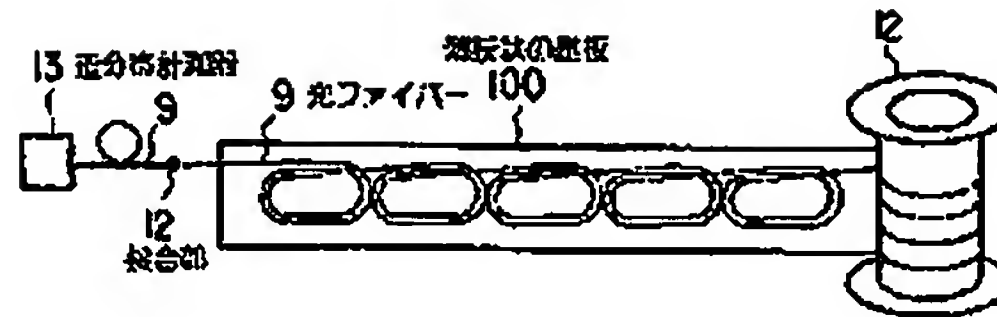
(5)

特開平11-287650

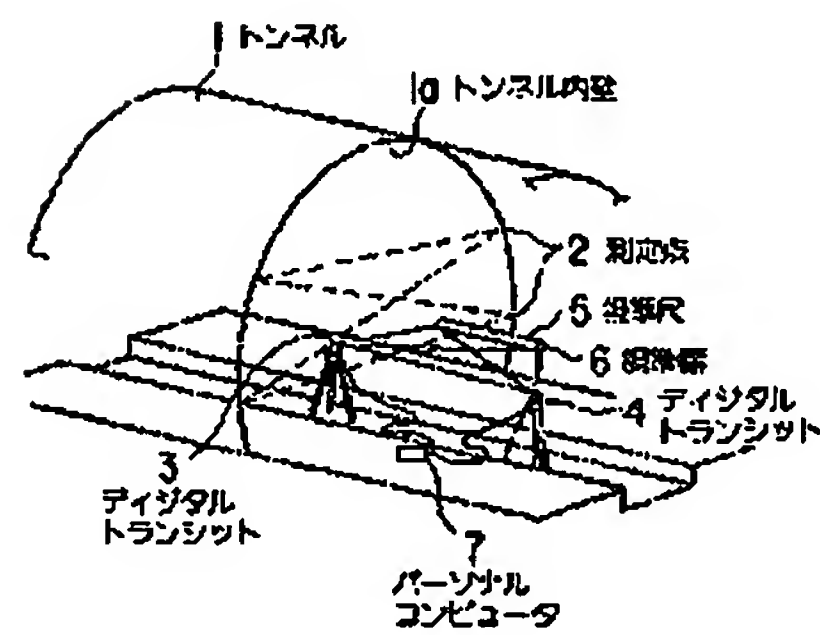
【図2】



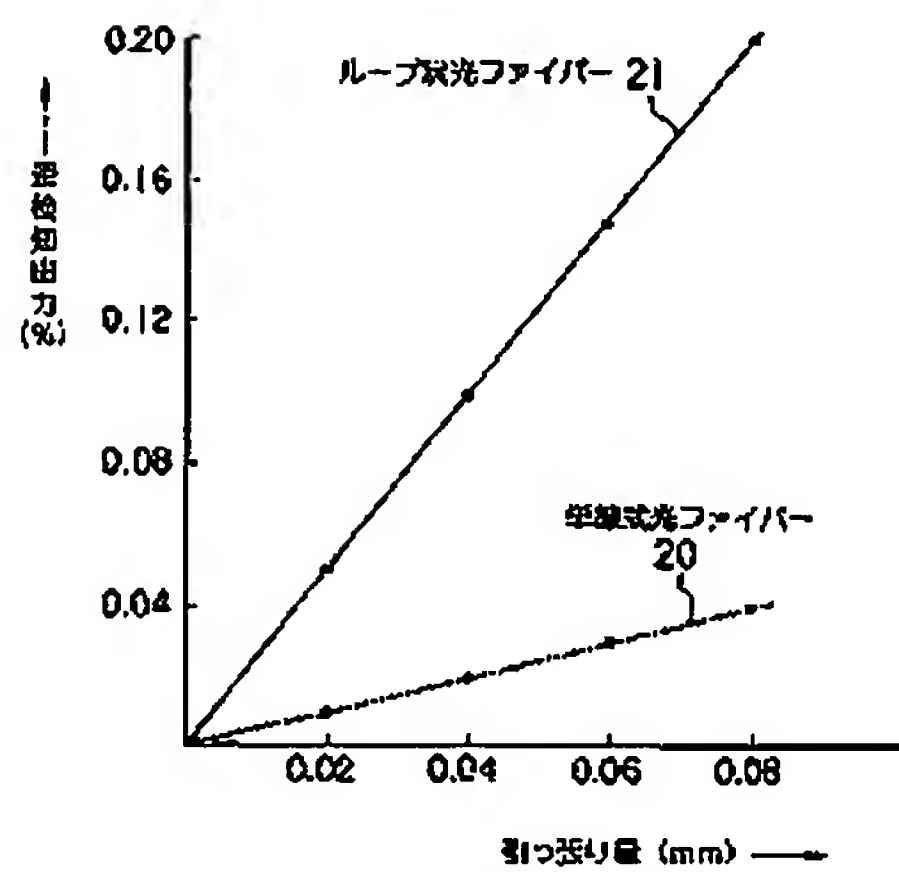
【図3】



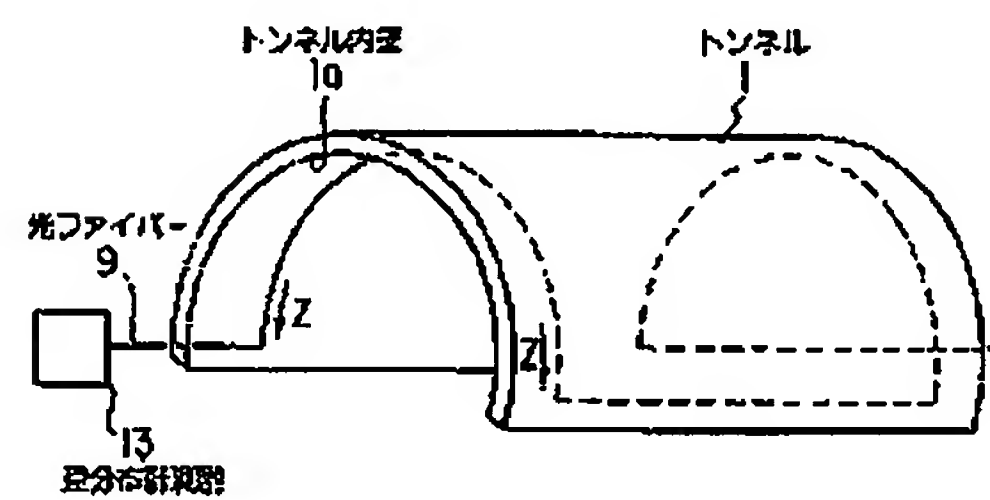
【図5】



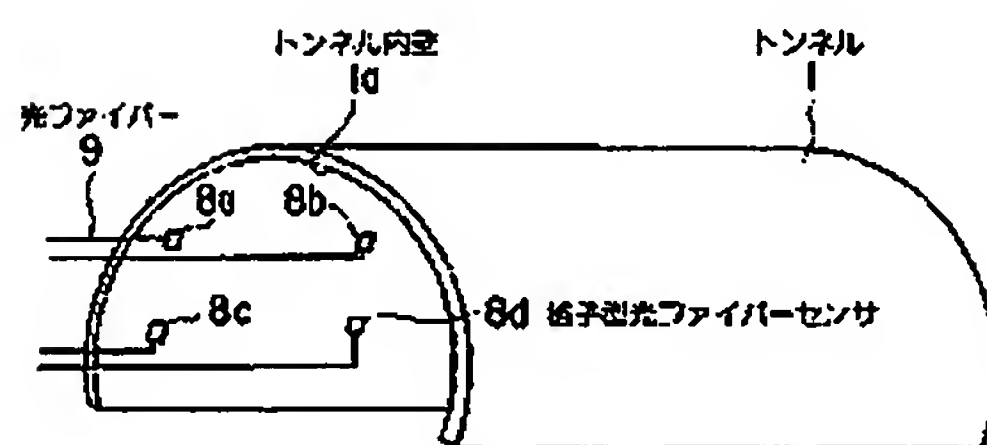
【図4】



【図8】



【図6】

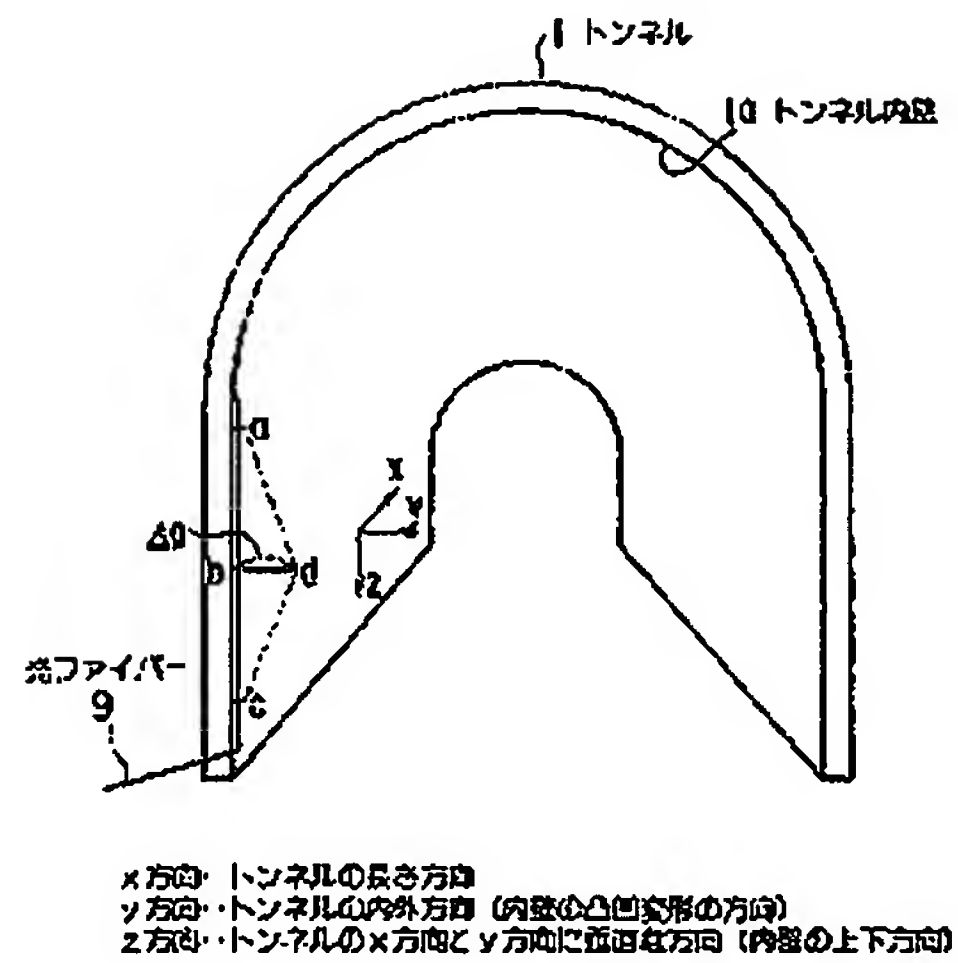




(7)

特開平11-287650

【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**